

Rapports PSS N° 8

Production Soudano-Sahélienne (PSS)
Exploitation optimale des éléments nutritifs en élevage

Projet de coopération scientifique

Description du système racinaire de l' *Andropogon gayanus*, du *Vigna unguiculata* et du *Stylosanthes hamata* en zone soudano-sahélienne

J.J.R. Groot¹⁾, D. Koné²⁾, M. Traoré²⁾ & N. Kamissoko²⁾

Adresse :

1) AB-DLO, B.P. 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas

2) Institut d'Economie Rurale (IER), B.P. 258, Bamako, Mali

IER, Bamako
AB-DLO, Wageningen, Haren
DAN-UAW, Wageningen



Rapports PSS N° 8

Wageningen, 1995

Rapports du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS)

Numéro 8

Table des matières

- [Résumé](#)
- [Summary](#)
- [1. Introduction](#)
- [2. Matériels et méthodes](#)
 - [2.1. Caractéristiques du milieu d'étude](#)
 - [2.2. Matériel végétal](#)
 - [2.3. Caractéristiques chimiques et physiques du sol](#)
 - [2.4. Méthode d'étude du système racinaire](#)
 - [2.4.1. Introduction](#)
 - [2.4.2. Echantillonnage par la planche à clous](#)
 - [2.4.3. Evaluation de la biomasse et mesure de densité racinaire](#)
- [3. Résultats](#)
 - [3.1. Caractéristiques physiques et chimiques des sols](#)
 - [3.2. Description du système racinaire](#)
 - [3.2.1. Biomasse racinaire d'*Andropogon gayanus*](#)
 - [3.2.2. Biomasse racinaire de *Vigna unguiculata*](#)
 - [3.2.3. Biomasse racinaire de *Stylosanthes hamata*](#)
 - [3.3. Densité du système racinaire](#)
 - [3.4. Longueur spécifique des racines](#)
- [4. Discussion et conclusions](#)
- [Bibliographie](#)
- [Annexe 1](#)
- [Annexe 2](#)

« The research for this publication was financed by the Netherlands' Minister for Development Co-operation. Citation is encouraged. Short excerpts may be translated and/or reproduced without prior permission, on the condition that the source is indicated. For translation and/or reproduction in whole the Section DST/SO of the aforementioned Minister should be notified in advance (P.O. Box

Résumé

Une étude sur le système racinaire de trois espèces fourragères a été entreprise à la fin de l'hivernage 1992. L'étude a porté sur l'*Andropogon gayanus*, le *Stylosanthes hamata* et le *Vigna unguiculata* (Niébé) et a été exécutée sur les Stations de Recherche Agronomique de Cinzana (avec une pluviométrie moyenne de 700 mm an⁻¹) et de N'Tarla (avec une pluviométrie moyenne de 900 mm an⁻¹). Les prélèvements ont été effectués suivant la méthode de monolithe ou planche à clous.

A cause de la grande variabilité spatiale au niveau des parcelles d'*Andropogon gayanus*, la méthode utilisée n'a pas permis d'obtenir des données de biomasse racinaire satisfaisantes. On constate que la précision de la méthode augmente avec la densité et l'homogénéité de la culture.

L'âge de la population d'*Andropogon gayanus* semble ne pas avoir une influence sur la production de la biomasse racinaire ; la population à N'Tarla installée en 1951 produisait 4 t ha⁻¹ et celle à Cinzana, installée en 1991 produisait 5 t ha⁻¹. Cependant, les biomasses aériennes étaient respectivement 12 et 8 t ha⁻¹ pour N'Tarla et Cinzana et il est possible que les investissements dans le système racinaire sont plus importants pendant les premières années de croissance. Pour l'*Andropogon gayanus* 90 % de la biomasse racinaire est concentré dans la couche 0-60 cm. A N'Tarla la profondeur d'enracinement était 180 cm ; à Cinzana les racines s'arrêtent à 120 cm à cause de la présence de la cuirasse. En général, la biomasse racinaire diminue en fonction de la profondeur d'une façon exponentielle négative, mais la diminution de la densité racinaire (centimètres des racines par volume du sol, cm cm⁻³) est moindre. Cela implique une augmentation de la longueur spécifique en allant vers les couches plus profondes (racines plus fines en profondeur).

La production de la biomasse racinaire de *Vigna unguiculata* sans apport de phosphore était 1118 kg ha⁻¹ (moyenne de deux répétitions) contre 2922 kg ha⁻¹ avec apport de phosphore. C'est surtout dans les premières 60 cm du profil qu'on constate une forte augmentation de la biomasse racinaire avec apport de phosphore. Cependant, l'effet de phosphore sur la production de la biomasse aérienne était négligeable : 4200 kg ha⁻¹ sans apport contre 4900 kg ha⁻¹ avec apport de phosphore. Le *Vigna unguiculata* ne montre pas de changements clairs dans la longueur spécifique.

La biomasse racinaire de la légumineuse semi-pérenne *Stylosanthes hamata* ne montre pas une forte réponse à l'apport de phosphore : 3596 kg ha⁻¹ sans apport et 4161 kg ha⁻¹ avec une dose non limitative. Les biomasses aériennes étaient 8360 kg ha⁻¹ et 10860 kg ha⁻¹. La distribution de biomasse racinaire de *Stylosanthes hamata* en fonction de la profondeur était plus homogène que pour *Andropogon gayanus* et le *Vigna unguiculata*. La densité racinaire est élevée pour tous le profil et la longueur spécifique augmente de 35 m g⁻¹ pour la couche 0-20 cm à 100 m g⁻¹ pour la couche 130-140 cm. La densité élevée pour tout le profil doit permettre le *Stylosanthes hamata* d'exploiter l'eau et les éléments nutritifs d'une façon efficace, ce qui est surtout important pour satisfaire le besoin en phosphore.

La plupart de la biomasse racinaire à la fin de l'hivernage peut être considérée comme apport en matière organique et les biomasses racinaires et leurs teneurs en azote montre que l'arrière effet de *Vigna unguiculata* est de l'ordre de 40 kg de l'azote à l'hectare contre 60 kg ha⁻¹ pour le *Stylosanthes hamata*.

Summary

The root systems of the fodder species *Andropogon gayanus*, *Stylosanthes hamata* and *Vigna unguiculata* (cowpea) were studied at the end of the rainy season of 1992. The study was executed at Cinzana Agronomic Research Station (average rainfall 700 mm yr⁻¹) and at N'Tarla Agronomic Research Station (average rainfall 900 mm yr⁻¹). Root samples were taken according to the pinboard monolith method.

The results of the root biomass sampling for *Andropogon gayanus* were not quite satisfactory, caused by the large spatial variability in plant distribution and plant size. It was concluded that the reliability of the sampling method increases with increasing plant density and crop homogeneity.

The age of the *Andropogon gayanus* population seemed to have no effect on root production; in N'Tarla the population installed since 1951 produced 4 t ha⁻¹, whilst the population in Cinzana installed in 1991 produced 5 t ha⁻¹. However, above ground productions for N'Tarla and Cinzana were 12 t ha⁻¹ and 8 t ha⁻¹, respectively. It may well be possible that investments in the root system are more important during the installation of a young population than for a well-established population. 90 % of the *Andropogon gayanus* root biomass was concentrated in the upper 60 cm of the soil profile, and maximum rooting depth in N'Tarla was 180 cm; in Cinzana the

maximum rooting depth of 120 cm was the result of a hard-pan at this depth. Generally, a negative exponential decrease in root biomass was observed, but root length density (cm root cm⁻³ soil) decreased to a lesser extent, indicating that specific root length (root length (m) per gram root weight) increased with depth (roots have smaller diameters in the deeper layers).

Root biomass production of *Vigna unguiculata* was estimated at 1188 kg ha⁻¹ without application of phosphorous (average of two repetitions) and at 2922 kg ha⁻¹ in case of non-limitative phosphorous supply. However, there was little effect on the above ground production : 4200 kg ha⁻¹ without application and 4900 kg ha⁻¹ with application of phosphorous. A change in specific root length with depth could not be observed for *Vigna unguiculata*.

Hardly any response to phosphorous application in root biomass of the semi-perennial leguminous *Stylosanthes hamata* was observed : 3596 kg ha⁻¹ without application and 4161 kg ha⁻¹ with phosphorous application. Above ground productions were 8360 kg ha⁻¹ and 10860 kg ha⁻¹ for treatments without and with phosphorous application, respectively. The distribution of root biomass with depth was more homogenous than for *Andropogon gayanus* and *Vigna unguiculata*, and root densities were high throughout the whole soil profile. Specific root length increased from 35 m g⁻¹ for the 0-10 cm layer to 100 m g⁻¹ for the 130-140 cm layer. The presence of high root length densities throughout the whole profile allows an efficient use of water and nutrients, and is especially important to satisfy the phosphorous requirement of the crop.

The majority of the root production at the end of the growing season can be considered as an input of organic matter. The root biomass and nutrient contents as measured allow to calculate the rest-effects of nitrogen fixation; for *Vigna unguiculata* the amount of nitrogen supplied by the root system was approximately 40 kg ha⁻¹ and for *Stylosanthes hamata* in the order of 60 kg ha⁻¹.

1. Introduction

Au Mali comme dans les autres pays sahéliens, l'objectif prioritaire des gouvernements à l'heure actuelle est d'assurer l'autosuffisance alimentaire. Cependant, l'augmentation rapide de la population et le faible niveau des productions végétales et animales font qu'il devient de plus en plus difficile d'atteindre ce but. La raison fondamentale à ce phénomène est l'absence de données quantitatives sur les processus assurant la stabilité du système Sol-Plante-Animale ainsi que le rôle des innovations sur ce mécanisme. Pour pallier cette lacune et pour mieux comprendre et soutenir la gestion des ressources naturelles, le projet Production Soudano-Sahélienne (PSS) s'est fixé un objectif global portant sur l'utilisation optimale de l'azote et du phosphore dans la production fourragère et dans l'alimentation du bétail.

Cependant, l'utilisation des éléments nutritifs à long-terme peut conduire plus à une dégradation des terres agricoles suite à l'intensification de la production végétale (cas de la zone cotonnière du Mali) qu'à une préservation de l'équilibre et de la stabilité de l'agro-écosystème (Pieri, 1989). D'où la nécessité d'un programme de recherche en vue d'optimiser l'emploi des intrants pour une meilleure rentabilisation. L'apport des compléments azotés et phosphatés dans la zone d'intervention du projet PSS (Sud-Sahel et Nord-Soudan, 300-900 mm pluie an⁻¹) pourrait permettre une augmentation des productions végétales et animales par le maintien du niveau de fertilité des sols qui est apparu comme étant le facteur le plus limitatif pour la production végétale ([Penning de Vries & Djitèye, 1982](#)).

Le Projet tente à travers les essais agronomiques fourragers d'approfondir les connaissances sur la production végétale en liaison avec la disponibilité des éléments nutritifs par rapport à la matière organique dans le sol et par rapport à l'application des engrais chimiques et organiques. L'approfondissement des connaissances sur certaines caractéristiques des espèces végétales herbacées jouant un rôle important dans l'exploitation des intrants externes (engrais chimiques et organiques) mérite une attention particulière. Le système racinaire constitue l'une de ces caractéristiques de par son rôle dans l'absorption des éléments nutritifs et de l'eau. Pour ce faire, trois espèces (*Andropogon gayanus*, *Stylosanthes hamata* et *Vigna unguiculata*) ont été suivies pour mieux comprendre la distribution de leur système racinaire dans le sol.

La différenciation des horizons du sol en relation avec l'enracinement des plantes présente un intérêt évident pour une meilleure compréhension de l'utilisation des éléments nutritifs disponibles par une végétation ou une culture à biomasse élevée. Par la constitution des réserves nutritives propres, un système racinaire actif, permanente et dense, les graminées vivaces rassemblent les éléments nutritifs autour d'elles et de les maintiennent en circulation. En plus, la biomasse racinaire élevée des graminées pérennes contribue à l'accumulation de la matière organique dans le sol. Ainsi donc, la disponibilité en éléments nutritifs par rapport à la matière organique, qui est l'agent principal de la stabilisation de la structure du sol, constitue l'une des propriétés du sol les plus importantes pour le développement des systèmes de production durables. La matière organique constituée par les débris des racines mortes et les exsudats racinaires favorise le développement racinaire des cultures. Par sa minéralisation et son importance dans la dynamique de l'azote, elle influence directement la nutrition de la plante et les propriétés physico-chimiques des sols (capacité d'échange des cations). Le système racinaire des plantes cultivées et de la végétation naturelle représente une fraction importante de la production primaire nette. Cette quantité change en fonction du type de végétation, du stade de développement, du type de substrat et

des techniques culturales.

L'absorption de l'eau et des éléments nutritifs dépend non seulement de la longueur et de la surface des racines, mais aussi de la répartition de celle-ci au cours de la saison, dans les différents horizons du profil du sol permettant ainsi de savoir si les besoins en eau et en éléments nutritifs des plantes peuvent être satisfaits. La densité des racines, outre le diamètre, le poids, la longueur est un paramètre important lié à l'exploitation du sol. Elle intervient dans l'utilisation efficace des éléments nutritifs. En effet, la densité racinaire pour exploiter efficacement un sol quant au nitrate par exemple est du même ordre de grandeur que la densité racinaire pour l'eau. Cependant, cette densité est une dizaine de fois plus grande pour l'absorption du phosphore (P). Ainsi donc, on peut s'imaginer que les couches supérieures du sol sont exploitées quant à l'eau et à l'azote ; mais partiellement pour le phosphore.

Pour des raisons mentionnées si-dessus, les recherches sur le système racinaire des plantes occupent une place de choix dans les études sur la relation sol-eau-plante, la biologie et la fertilité des sols. Les observations sur le système racinaire permettent d'établir des diagnostics et des pronostics ayant trait au peuplement végétal et au système de culture (Gautronneau & Manichon, 1987). Cependant, malgré la multitude des méthodes mises en oeuvre par différents auteurs, force est de reconnaître que les investigations racinaires présentent jusqu'à présent des difficultés majeures à savoir : l'extraction des racines du sol prend du temps, de la main d'oeuvre intensive et est souvent incomplète (Böhm, 1979 ; van Noordwijk, 1993), la différenciation entre les racines vivantes et les racines mortes n'est pas aisée. En outre, les études sur le système racinaire des espèces fourragères ont fait l'objet de très peu d'investigations au Mali. Dans ces conditions l'étude entreprise permettra d'approfondir les connaissances dans le domaine de la production végétale des différentes cultures et de la végétation naturelle et d'asseoir une méthodologie d'approche appropriée pour l'étude des systèmes racinaires. La présente étude a pour objectif de décrire le système racinaire non seulement pour une population bien développée d'*Andropogon gayanus* installée depuis 1951 à N'Tarla et pour une population jeune installée en 1991 dans un champ d'essais à Cinzana en vue d'établir l'influence et la relation entre l'âge de la plante, la densité et le profil racinaire ; mais aussi pour une culture de *Vigna unguiculata* et de *Stylosanthes hamata* en culture pure.

2. Matériels et méthodes

2.1. Caractéristiques du milieu d'étude

L'étude a été conduite au niveau des Stations de Recherches Agronomiques de Cinzana et de N'Tarla. La Station de Recherche Agronomique de Cinzana est située à 5deg. 55' E ; 13deg. 10' N avec une altitude moyenne de 280 m. Le climat est de type soudano-sahélien avec une pluviométrie moyenne de 750 mm par an. La saison des pluies se situe entre Juin et mi-Octobre avec le maximum de pluie au mois d'Août (111,7 mm). Pendant l'année d'étude 1992, la pluviométrie a été de 698 mm. Les températures moyennes annuelles se situent aux environs de 28 à 33 deg.C avec des températures minimales de 8 à 12 deg.C au mois de Janvier et des températures maximales de 39-40 deg.C au mois d'Avril. Le sol est classé comme sol rouge sableux de la catégorie des sols dits ferrugineux tropicaux appauvris modaux sur matériaux d'épandage éoliens.

La Station de Recherche Agronomique de N'Tarla est située à 5deg. 42' O ; 12deg. 35' N avec une altitude moyenne de 310 m. Son climat est de type Soudanien avec une saison sèche qui s'étend de Novembre à Avril et une saison pluvieuse de Mai à Octobre avec un pic au mois d'Août (260 mm). Entre 1951 et 1967 la pluviométrie oscillait autour de 1000 mm an⁻¹ ; pour la période 1968-1992 la pluviométrie moyenne est tombée à 903 mm an⁻¹. Pendant l'année d'étude 1992, la pluviométrie a été de 987 mm. Les températures moyennes annuelles se situent aux environs de 26 à 28 deg.C avec des températures minimales de 6 à 14 deg.C au mois de Janvier et des températures maximales de 36 à 41 deg.C au mois d'Avril. Le site d'expérimentation à N'Tarla sur lequel est installé la population d'*Andropogon gayanus* est un bas-glacis à surface plane de la catégorie des sols dits ferrugineux tropicaux peu lessivés modaux.

2.2. Matériel végétal

Andropogon gayanus

L'étude du système racinaire à Cinzana a été conduite sur une parcelle mise en place sur une jachère d'au moins 10 années, pendant la campagne 1991. Elle a été exécutée entre le 12 et le 24 Septembre 1992. L'observation a porté sur le prélèvement de deux monolithes au niveau de chacune des deux fosses conformément à la méthodologie décrite dans 2.4. L'étude a porté sur deux pieds d'*Andropogon gayanus* choisis selon l'état de développement (un pied bien développé et un pied moyennement développé). Le système racinaire a été suivi dans chacune des deux fosses jusqu'à une profondeur de 120 cm (présence d'une cuirasse latéritique).

L'étude à la Station Agronomique de N'Tarla a été conduite sur une bande d'*Andropogon gayanus* de 12 m de large. Cette bande anti-érosive installée depuis 1951 a été assimilée à une population naturelle. L'étude a été exécutée pendant la période de pleine croissance végétative des plantes du 1er au 10 Octobre. L'observation a porté sur le prélèvement de trois monolithes au niveau de chacune de deux fosses jusqu'à une profondeur de 200 cm.

Vigna unguiculata (niébé, variété Niban)

L'étude a été conduite à Cinzana sur deux parcelles, l'une ayant reçu 0 kg ha^{-1} de P_2O_5 et l'autre 240 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Au niveau de traitement P_0 deux fosses ont été creusées, au niveau de traitement P_{240} une seule fosse de prélèvement de monolithes a été creusée à cause de l'arrêt brutal des pluies à la fin du mois de Septembre. Les observations du système racinaire a porté sur le prélèvement de trois monolithes au niveau de chacune des deux fosses. L'étude a concerné deux poquets ayant deux pieds chacun et distants de 80 cm. Le système racinaire a été suivi dans chacune des trois fosses jusqu'à la profondeur de 180 cm.

Stylosanthes hamata

L'étude a été conduite au niveau du Cinzana également sur deux parcelles installées au cours de la campagne 1991. Les parcelles comportent donc des pieds dans leur deuxième année et des jeunes pieds d'une année issus de ressemis naturel. Le phosphore a été appliqué en raison de 0 kg ha^{-1} de P_2O_5 et 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Les travaux ont consisté au prélèvement de deux monolithes au niveau de deux fosses plus une couche supplémentaire de 30 cm. Le système racinaire a été suivi respectivement à 160 et 150 cm de profondeur pour les deux traitements.

2.3. Caractéristiques chimiques et physiques du sol

A Cinzana un échantillonnage du sol a été effectué en 1992 au début de la saison des pluies pour caractériser la fertilité et la texture des sites des essais de *Andropogon gayanus*, *Stylosanthes hamata* et *Vigna unguiculata*. Pour ce faire sur chaque sous-parcelle d'environ 1/4 hectare les prélèvements ont été faits de façon systématique (17 échantillons) à la tarière sur des couches de 20 cm jusqu'à une profondeur de 140 cm. Ensuite les 17 échantillons par sous-parcelle ont été mélangés pour obtenir un échantillon représentatif par couche. Les échantillons ont été séchés à la température ambiante, et les analyses ont porté sur le pH(eau), pH(KCl), teneur en Carbone (%), teneur en Azote-total (%), teneur en Phosphore-totale (ppm), teneur en P-assimilable (P-Bray, en ppm), capacité d'échange des cations (CEC, en $\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$), saturation des bases (%) et granulométrie.

A N'Tarla l'échantillonnage a été fait avant l'hivernage 1992. Les prélèvements ont été effectués de façon systématique (20 points équidistants repartis sur le bande d'*Andropogon*). La profondeur de l'échantillonnage était de 180 cm et les analyses ont porté sur les caractéristiques mentionnées ci-dessus.

Pour les deux localités (Cinzana site A9 et N'Tarla bande d'*Andropogon*), le profil pédologique a été décrit de façon qualitative (Keita, 1990).

2.4. Méthode d'étude du système racinaire

2.4.1. Introduction

Les méthodes d'étude du système racinaire des plantes varient suivant la finalité recherchée (étude descriptive ou visant à quantifier la production racinaire), la nature du sol (dureté, texture, etc.) et les espèces botaniques rencontrées (absence ou présence d'une racine pivot, végétation abondante ou clairsemée, etc.). Dans cette étude, la technique de prélèvement de monolithe a été choisie. Elle n'est applicable que dans les sols sans gravillons ou sans débris racinaires des espèces ligneuses et présente l'avantage de moins perturber le site de l'étude par rapport à l'échantillonnage par la tarière (van Noordwijk, 1993). Le matériel de travail utilisé est une planche à clous ou « lit du fakir ». Elle comporte trois grandes étapes dont le creusement de la fosse et la préparation de la paroi du profil ; la quantification de la biomasse et de la longueur des racines ; et enfin l'estimation de la quantité totale des racines (van Noordwijk, 1993). Pour les détails de la méthodologie on peut se référer à Schuurman & Goedewaagen (1971) et Böhm (1979).

2.4.2. Echantillonnage par la planche à clous

La première opération pour le prélèvement des monolithes a consisté au creusement d'une fosse de 1,2x1,6 m pour faciliter les manipulations de la planche à clous utilisée dans notre étude. La fosse est creusée à 4 à 5 cm du ou des pieds choisis et sa profondeur a été portée à 80 cm. La Fig. 2 donne la position de la planche à clous pour les différentes cultures. Pour la présente étude, une planche de 110 cm de long et 60 cm de large a été utilisée. Des clous en forme de pointes insérés à chaque 10 cm sur la surface de la planche au moment du prélèvement ont tous une longueur de 11,2 cm dont 10 cm au-dessus de la planche (voir Fig. 1). Pour pouvoir maintenir les racines en place au cours du lavage et dans leur position initiale comme dans le sol, on introduit une grille en plastique (maille de 1x2 cm) entre la planche et la paroi du profil, ensuite on procède mécaniquement au découpage de la terre sur les deux côtés et le dessous de la planche jusqu'à une profondeur de 10 cm (taille des clous). Le découpage du monolithe par action de sciage se fait à l'aide d'une ficelle en acier inoxydable (câble de frein long de 4 à 5 m) placée au-dessous du monolithe dans la partie préalablement découpée ajustée sur les deux côtés. Après le découpage le monolithe (avec une poids d'environ 170 kg) est enveloppé dans une bâche, attaché puis transporté à l'atelier de lavage. Il est ensuite lavé sous une pression réglable d'eau, permettant d'avoir la carte racinaire des pieds prélevés. Les échantillons de racines récoltés sur un volume de 10 x 10 x 10 cm de terre sont ensuite découpés et mis dans des sachets en plastique. Au cours de l'opération, on arrose régulièrement les racines pour ralentir la mortalité

des cellules. Les échantillons reçoivent également une certaine quantité d'eau leur permettant d'être conservés au frais sans entraîner une grave détérioration de leur qualité. Il faut se réaliser qu'après la récolte les racines vivantes rentrent en agonie. C'est ainsi que la transpiration continue après le prélèvement au champ et est même augmenté suite aux blessures occasionnées par la récolte. Ces blessures constituent des portes d'entrées des microbes et augmentent le risque de pourriture. Par ailleurs l'intégrité des membranes n'est pas garantie. Dans ces conditions les racines blessées perdent leur contenu cellulaire (sucre, ions d'éléments nutritifs). Tout cela entraîne des pertes de matière organique et sèche. Ces pertes sont relativement élevées avec les dicotylédones et moindres avec les graminées. L'espèce, l'âge de la plante et la durée du stockage exercent une influence sur les pertes du contenu cellulaire des racines (Grzebisz *et al.*, 1989). Une température relativement élevée aggrave les problèmes de perte. Par contre le stockage dans un réfrigérateur amoindrie les pertes. Les pertes de matière sèche sont d'environ 20 à 50 %, mais ces taux dépendent de l'espèce et de l'âge des racines. Dans l'interprétation des données de cette étude, la perte moyenne a été considérée d'être 5 %.

Figure 1. Planche à clous (a) et schématisation du volume de sol prélevé avec la planche à clous (b).

Figure 2. Position de la planche à clous pour des différentes cultures.

a : *Andropogon gayanus* ; b : *Vigna unguiculata* ; c : *Stylosanthes hamata*.

Le triage qui intervient après le lavage a pour but de séparer non seulement les racines des cultures fourragères choisies pour l'étude des autres espèces ; mais aussi, d'éliminer des échantillons les racines mortes et tous les autres débris de matière organique.

La classification des racines selon différents diamètres peut intervenir. Elle a pour but de diviser les échantillons racinaires entre les deux classes de diamètre retenues par l'étude (diamètre inférieur à 2 mm et diamètre supérieur à 2 mm (van Noordwijk, 1993). La mensuration est effectuée à l'aide d'un micromètre à lecture automatique ou d'un pied à coulisse ordinaire.

2.4.3. Evaluation de la biomasse et mesure de densité racinaire

L'évaluation de la biomasse racinaire se fait par la pesée de tous les échantillons frais par classe de diamètre et par quadrant. Tout juste avant la pesée, on procède à une centrifugation de l'échantillon pour permettre l'égouttage de l'eau qui peut autrement modifier le poids de la matière fraîche. Les échantillons ainsi pesés sont mis à l'étuve réglée à 70 deg.C pendant 48 h pour l'estimation de la matière sèche. Dans l'interprétation des résultats du biomasse, la matière sèche a été devisée par 0,65 pour pouvoir corriger pour la perte de biomasse au cours de des différentes manipulations (Grzebisz *et al.*, 1989).

L'estimation de la biomasse est suivie de la mesure de la longueur totale des racines laquelle joue un rôle important dans l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs. Elle a porté sur 50 % des échantillons racinaires choisis de façon systématique au niveau de chaque monolithe et cela par couche (voir Fig.1b). Le volume du travail ne permettant pas souvent d'effectuer les mensurations sur des échantillons frais de racines les échantillons secs retenus ont subi au préalable une cuisson de 15 à 20 min dans de l'eau bouillante ce qui leur a permis de prendre l'aspect de racines vivantes.

A l'intérieur d'une même espèce, la situation de la variabilité de la longueur spécifique des racines d'une même espèce végétale pouvant être petite, il est tout à fait normale de mesurer la longueur spécifique des racines seulement pour quelques sous- échantillons. Pour ce faire les méthodes directes et indirectes ont été utilisées. La première utilise une règle graduée et consiste à déterminer la longueur totale d'un échantillon racinaire par étallement de la racine le long de la règle. Cette méthode a surtout été appliquée sur des échantillons racinaires de faible quantité et ne portant pas de ramifications secondaires et tertiaires. La seconde (aiguille de Bouffon décrite en 1777) quant à elle fait intervenir la notion d'intersections. Cette méthode choisie pour la mensuration de la longueur de la racine a été développée par Newman (1966) et Tennant (1975). Une description détaillée de la méthode se trouve dans Traoré *et al.* (en prép.). Les racines découpées et colorées avec le rouge de sulframine sont dispersées avec des orientations au hasard dans une fine lame d'eau sur une plaque de verre (d'environ 25 x 25 cm), l'eau est déplacée et une grille (projetée, photocopiée sur un folio en acétate pour projection) est mise au dessus ou au dessous de l'écran des échantillons. Ligne par ligne toutes les intersections des racines avec les lignes de la grille sont additionnées. Les résultats des lignes horizontales (H) et verticales (V) de la grille sont additionnés sans tenir compte de la position des lignes de la grille pour obtenir le nombre N. Pour améliorer le contraste, les racines sont colorées avant le démarrage du comptage avec le rouge de sulframine (1g l⁻¹). Si la longueur de la grille est D (mm) ; la longueur de la racine L (mm) est déterminée à partir de l'équation suivante : $L = [pi] \times N \times D / 4$. Si D est fixé à 40 [pi], soit 12,7 mm, $L = 10 N$ (mm).

Tableau 1. Caractéristiques physiques et chimiques des sols.

Localité	Espece	Couche	pH (eau)	pH (KCl)	C (%)	N (%)	C/N	P-tot (ppm)	P-ass (ppm)	CEC (méq/100g)	Ca-éch.	Mg-éch.	K-éch.	Na-éch.	sat (%)	Sable %>0.05 mm	Limon% 0.05-0.002mm	Argile %<0.002 mm
Cinzana	Andropogon	0- 20 20- 40	5.7	4.1	0.28 0.27	0.02 0.02	14	59.5	3.9	1.7	0.93 0.62	0.27 0.28	0.23 0.21	1.38 0.35	100	86.6	7.0	6.4

1992	gayanus	40- 60	5.2	3.6			14	56.5	1.2	2.1					70	79.3	9.6	11.1
		60- 80	5.0	3.6	0.18	0.01	18	66.5	0.9	2.9	0.56	0.30	0.12	0.49	51	75.1	9.3	15.6
		80-100	5.0	3.6	0.16	0.01	16	59.5	1.0	2.7	0.62	0.38	0.12	0.10	45	73.3	8.8	17.8
		100-	5.1	3.5	0.30	0.01	30	61.0	1.1	3.2	0.91	0.43	0.11	0.33	56	69.2	10.1	20.7
		120	5.1	4.5	0.41	0.01	41	63.5	1.5	3.2	1.31	0.45	0.12	0.46	73	67.9	14.0	18.0
		120-	5.3	3.7	0.54	0.02	27	65.5	0.1	4.4	1.52	1.01	0.41	0.14	70	48.9	21.7	29.4
		140																
N'Tarla 1992	Andropogon gayanus	0- 20																
		20- 40																
		40- 60	6.2	4.9	0.30	0.04	8	68.5	2.1	3.1	1.73	0.55	0.35	0.03	86	66.0	29.4	4.5
		60- 80	6.3	4.6	0.36	0.02	18	43.5	0.9	1.1	1.25	0.36	0.21	0.17	100	72.2	21.6	6.2
		80-100	5.8	4.2	0.33	0.02	17	60.0	0.9	3.3	1.15	0.77	0.29	0.67	87	61.5	23.3	15.2
		100-	5.6	4.0	0.24	0.02	12	86.5	0.3	2.5	1.73	1.56	0.43	0.46	100	50.4	20.1	29.5
		120	5.4	3.7	0.10	0.02	5	73.5	0.3	5.7	0.72	0.74	0.25	0.46	38	47.6	20.6	31.8
		120-	5.4	3.7	0.14	0.01	14	71.5	0.3	5.7	1.41	1.18	0.41	0.17	56	49.1	19.6	31.3
		140	5.2	3.6	0.07	0.01	7	76.5	0.1	5.5	1.57	10.4	0.41	0.07	56	48.9	20.7	30.4
		140-	5.2	3.7	0.29	0.01	29	73.0	0.04	5.5	1.31	0.84	0.41	0.30	52	47.6	22.9	29.5
		160	5.1	3.7	0.37	0.01	37	67.5	0.1	5.7	0.88	0.79	0.39	0.49	44	45.4	24.6	30.0
		160-																
		180																
Cinzana 1992	Stylosanthes hamata P0	0- 20			0.22	0.02	11	53.5	1.5	1.7	0.40	0.21	0.16	0.21	58	84.4	11.0	4.5
		20- 40	5.7	4.0	0.21	0.01	21	60.5	1.3	2.7	0.56	0.20	0.14	0.14	39	80.5	11.4	8.0
		40- 60	5.1	3.6	0.25	0.01	25	54.5	1.5	2.1	0.19	0.15	0.06	0.00	19	81.4	7.6	11.0
		60- 80	5.0	3.6	0.19	0.01	19	58.5	1.6	1.8	0.51	0.18	0.11	0.57	76	82.6	7.5	9.8
		80-100	5.0	3.6	0.56	0.01	56	60.5	1.5	2.5	0.62	0.23	0.12	0.03	40	77.3	9.9	12.7
		100-	5.0	3.5	0.35	0.01	35	67.5	1.5	3.4	0.88	0.32	0.12	0.14	43	74.2	10.6	15.2
		120	5.1	3.5	0.23	0.01	23	61.5	1.7	2.1	0.51	0.25	0.08	0.00	40	72.4	10.6	17.0
		120-	5.2	3.6														
Cinzana 1992	Stylosanthes hamata P200 (200 kg/ha)	0- 20			0.43	0.01	43	72.5	23.3	2.2	0.00	0.01	0.04	0.00	2	86.6	7.9	5.5
		20- 40	5.3	3.8	0.20	0.01	20	61.5	3.2	3.4	0.43	0.16	0.13	0.16	26	81.7	9.0	9.3
		40- 60	5.0	3.5	0.16	0.02	8	54.5	2.3	2.1	0.40	0.18	0.12	0.00	34	79.5	10.1	10.4
		60- 80	4.9	3.6	0.13	0.01	13	54.5	2.9	2.2	0.46	0.21	0.12	0.31	50	79.6	8.8	11.5
		80-100	5.1	3.5	0.14	0.01	14	57.5	2.0	3.6	0.88	0.27	0.12	0.14	39	76.8	8.2	15.0
		100-	5.0	3.5	0.12	0.02	6	56.5	2.3	3.0	0.67	0.33	0.12	0.24	48	73.3	10.2	16.5
		120	5.0	3.5	0.40	0.01	40	60.5	2.7	3.6	1.15	0.44	0.12	0.81	70	74.1	9.6	16.2
		120-	5.1	3.6														
		140																

3. Résultats

3.1. Caractéristiques physiques et chimiques des sols

Cinzana

Le Tableau 1 donne les caractéristiques physiques et chimiques des sols des sites d'expérimentation. L'analyse granulométrique montre que le sol à Cinzana est du type sableux ; la teneur en sable diminue avec la profondeur et les teneurs en limon et argile augmentent. La sous-parcelle avec l'essai d'*Andropogon* se trouve en bas de pente, avec des taux de limon et d'argile en profondeur plus élevés que pour les autres sous-parcelles.

Le pH des premiers couches est légèrement acide (environ 5,5) et le pH pour les couches en dessous de 20 cm il est de l'ordre de 5,1. Concernant la teneur en carbone on constate pour les 3 sous-parcelles une diminution avec la profondeur, cependant il y a une légère augmentation pour les couches les plus profondes. La teneur est plus élevée pour les couches superficielles que pour les couches profondes. Les analyses de P-total montrent que la teneur en P-total reste constante avec la profondeur, et que le niveau de P-assimilable est très bas. La CEC est basse (2-4 méq 100 g⁻¹) et augmente légèrement avec la profondeur, et la saturation des bases est dans l'ordre de 40-50 % à l'exception les couches superficielles du sous-parcelle d'*Andropogon gayanus* qui ont des valeurs élevées et les couches superficielles de *Stylosanthes hamata* avec des valeurs basses.

N'Tarla

L'échantillonnage de sol a été effectué en 1992 au sein d'une population d'*Andropogon gayanus* installée depuis 1951. L'analyse granulométrique montre que la couche 0-60 cm peut être caractérisée comme étant du type sablo-limoneux ; à partir de 60 cm la teneur en sable diminue et la teneur en argile augmente. Le pH en 1992 est presque neutre pour les couches superficielles et diminue avec la profondeur du sol. La teneur en carbone diminue avec la profondeur, mais à partir de 140 cm de profondeur on observe une légère augmentation. Les teneurs en azote diminuent avec la profondeur. Les analyses de P-total montrent que la teneur en P-total reste plus ou moins constante avec la profondeur et que le niveau de P-assimilable reste faible ; cependant la disponibilité en P reste plus élevée pour les couches profondes. La CEC est basse et augmente avec la profondeur, et la saturation des bases de la couche 0-80 cm est élevée (86-100 %) mais est moindre à partir de 80 cm.

Profils pédologiques

Cinzana

Le site à Cinzana sur lequel sont installés les essais est constitué par un versant à cuirasse profonde qui forme les sols rouges sableux de la station. L'étude du profil pédologique (Keita *et al.*, 1981) a identifié trois (3) horizons distincts :

0-20 cm = A₁ ; brun foncé sans tache, très poreux, structure massive, peu cohérente, texture très grossière d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur, sableuse à sablo-limoneux ; très faiblement humifère, nombreuses racines, transition distincte.

20-50 cm = A₂ ; 5YR, brun-rougeâtre, texture limono-sableuse sur plus de 50 cm d'épaisseur, quelques débris organiques et de racines.

50-100 cm = B₂ ; 5YR 5/8, rouge jaunâtre, plus riche en éléments fins, texture sableuse avec une légère augmentation du taux d'argile, structure assez bien développée à tendance polyédrique et qui se poursuit souvent jusqu'à 2 m de profondeur, parfois, on peut rencontrer la cuirasse à moins de 150 cm.

Ce type de sol appartient également à la catégorie des sols dits ferrugineux tropicaux appauvris modaux sur matériaux d'épandage éoliens.

N'Tarla

Le site à N'Tarla sur lequel est installée la population d'*Andropogon gayanus* est un bas-glacis à surface plane. On y distingue quatre (4) horizons distincts (Keita, 1990) qui sont :

0-20 cm = A₁ ; 10 YR. 4/4, la couleur est gris brunâtre sans taches, très poreux, structure polyédrique, la texture est sablo-limoneuse à sable grossier, non plastique et collant, très friable et fragile, présence de débris organiques et de nombreuses racines, transition distincte.

20-40 cm = A₂ ; 7,5 YR. 5/6, brun sans tache, poreux, structure massive, texture limono-sableuse à sable grossier, peu plastique, non collant, friable, présence de quelques débris organiques et de racines, transition distincte.

40-90 cm = B₁ ; 7,5 YR. 5/8, brun, présence de très nombreuses taches, très peu poreux, absence de débris organiques, structure massive, texture limono-sableuse avec une légère augmentation de la teneur en argile, le sable est fin, peu plastique, non collant friable, peu fragile, présence de quelques racines, transition graduelle.

90-200 cm = B₁ ; 10 YR. 6/6, ocre nombreuses taches, très peu poreux, non organique, texture limono-argilo - sableuse à sable fin, plastique, peu collant, peu friable, peu fragile.

Cette description du profil permet de classer ce type de sol dans la catégorie des sols dits ferrugineux tropicaux peu lessivés modaux.

3.2. Description du système racinaire

3.2.1. Biomasse racinaire d'*Andropogon gayanus*

Le Tableau 2 donne le poids sec des racines fines (< 2mm) pour les blocs du monolithe, prélevé le 21 Septembre 1992 sous *Andropogon gayanus* à Cinzana. Les dimensions d'un bloc sont 10 x 10 x 10 cm (voir [Fig.1](#)), et le poids des racines est exprimé en gramme (racines) par litre (sol). Pour chaque couche de 10 cm du monolithe la biomasse racinaire totale a été calculée. En considérant que le monolithe est représentatif pour l'ensemble de la parcelle, la biomasse racinaire par couche (en kg ha⁻¹) peut être calculée par une simple extrapolation linéaire, cela après correction pour les pertes de 35 % du poids pendant le lavage (voir Tableau 2) ce qui permet d'avoir la distribution des racines fines dans la couche 0-10 cm du monolithe prélevé à Cinzana. La [Fig. 3](#) donne la distribution des racines fines dans la couche 0-10 cm ; il est évident que la densité des racines au niveau d'un pied est beaucoup plus élevée que la

densité au milieu des deux pieds, ce qui implique qu'une extrapolation linéaire surestime la production par unité de surface. Pour tenir compte de cette variabilité spatiale la théorie de van Noordwijk *et al.* (1985) a été appliquée.

Tableau 2. Poids sec des racines fines (<2 mm) par compartiment de la Fosse 2 (en kg l⁻¹), *Andropogon gayanus*, prélevé le 21-09-1992 à Cinzana.

cm	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	cumul	prod.(kg/ha)	corrigé(kg/ha)
0- 10 cm	3.36	8.76	3.27	1.54	0.38	0.63	0.76	1.39	3.07	8.21	3.21	34.58	4836	1747
10- 20 cm	0.99	0.32	0.51	0.24	0.51	0.55	0.55	0.54	0.70	0.05	0.71	5.67	793	679
20- 30 cm	0.26	0.10	0.13	0.30	0.38	0.12	0.15	0.18	0.24	0.14	0.13	2.13	298	298
30- 40 cm	0.10	0.09	0.08	0.09	0.18	0.15	0.10	0.07	0.18	0.10	0.06	1.20	168	168
40- 50 cm	0.17	0.06	0.07	0.12	0.06	0.06	0.07	0.05	0.14	0.09	0.05	0.94	131	131
50- 60 cm	0.07	0.08	0.04	0.05	0.18	0.11	0.01	0.04	0.03	0.06	0.07	0.74	103	103
60- 70 cm	0.04	0.03	0.04	0.07	0.02	0.05	0.07	0.04	0.03	0.04	0.05	0.48	67	67
70- 80 cm	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.05	0.06	0.01	0.06	0.01	0.30	42	42
80- 90 cm	0.04	0.02	0.04	0.01	0.01	0.04	0.01	0.10	0.02	0.06	0.02	0.37	52	52
90-100 cm	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02	0.05	0.04	0.38	53	53
100-110 cm	0.03	0.02	0.06	0.01	0.04	0.04	0.04	0.03	0.01	0.03	0.01	0.32	45	45
110-120 cm	0.02	0.05	0.06	0.07	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.31	43	43
cumul													6632	3428

* colonne pas considéré dans l'extrapolation vers kg/ha

Figure 3. Distribution des racines fines dans le couche 0-10 cm du monolithe 2, *Andropogon gayanus*.

La Fig. 4 suppose que l'écartement entre les pieds d' *Andropogon gayanus* est de 80 x 80 cm, que le monolithe est positionné comme indiqué et que le système racinaire dispose d'une symétrie radiale. Par conséquent, la densité des racines diminue en s'éloignant du pied, pour être zéro à 60 cm du pied. Pour le premier cercle autour de chaque pied (comme indiqué avec I dans la Fig. 4) la densité est égale à la densité du compartiment a du monolithe. Pour l'anneau II, la densité correspond avec la densité du compartiment b du monolithe, mais pour l'anneau III il y a une interférence avec les racines des poids avoisinants. La densité moyenne par unité de surface (le carré indiqué autour du pied) peut être calculée comme la contribution pondérée des différentes densités. La contribution relative de la densité a dans le cercle I est calculée comme la superficie du cercle I (= [pi]) divisé par la superficie du carré P (= 64), la contribution dans l'anneau II est calculé comme $(r^2_{II} - r^2_I) * [pi]/64$.

La contribution des superficies e et f peut être calculée où simplement être mesurée. La densité pondérée est alors :

$$\frac{\Pi}{64} * a + \frac{(4 - 1) \Pi}{64} * b + \frac{(9 - 4) \Pi}{64} * c + \frac{(16 - 9) \Pi}{64} * d + 0,40 * e + 0,53 * f \quad \text{(Equation 1)}$$

$$= 0,049 a + 0,147 b + 0,245 c + 0,344 d + 0,4 e + 0,53 f \quad \text{(Equation 2)}$$

Avec une distance de 80 cm entre les pieds (voir Fig. 2 et Fig. 4) un monolithe avec une longueur de 100 cm est mieux placé que celui de 110 cm utilisé dans l'étude actuelle. Pour pouvoir uniformiser l'interprétation des données nous avons seulement considéré 100 cm du monolithe, et en fonction de sa position nous avons négligé soit la colonne 1 ou la 11 dans l'extrapolation vers l'unité de la surface. Les valeurs a, b, c, d, e et f sont calculées comme suit :

$$\begin{aligned} a &= (d_1 + d_2 + d_9 + d_{10})/4 && \text{avec } d_n = \text{densité dans le compartiment n du monolithe (voir Fig.1)} \\ b &= (d_3 + d_8)/2 \\ c + f &= (d_4 + d_7)/2 \\ c &= 0,85 (c + f) \\ f &= 0,15 (c + f) \\ d + e &= (d_5 + d_6)/2 \\ d &= 0,65 (d + e) \\ f &= 0,35 (d + e) \end{aligned}$$

Par exemple, pour le monolithe 2 (voir Tableau 2) ces valeurs sont :

$$a = (8,76 + 3,27 + 8,21 + 3,21)/4 = 5,86$$

$$b = (1,54 + 3,07)/2 = 2,31$$

$$c = 0,85 * (0,38 + 1,39)/2 = 0,75$$

$$d = 0,60 * (0,63 + 0,76)/2 = 0,42$$

$$e = 0,40 * (0,63 + 0,76)/2 = 0,28$$

$$f = 0,15 * (0,38 + 1,39)/2 = 0,13$$

Comme ci-dessus, la densité corrigée (en g l⁻¹) calculée suivant l'Equation 2, est de 1,135, ce qui est égale à (1000 x 1,135)/0,65 = 1746 kg ha⁻¹ (voir Tableau 2).

Figure 4. Représentation schématique de la distribution spatiale du système racinaire de 4 pieds d'*Andropogon gayanus* (a) et représentation schématique de la distribution spatiale du système racinaire des 2 pieds de *Vigna unguiculata* (b).

Pour les prélèvements sur *Andropogon gayanus*, les corrections ont été apportées seulement pour les couches 0-10 cm et 10-20 cm ; pour les couches plus profondes la densité est presque homogène. Comme on peut constater dans le Tableau 2 et dans l'[Annexe 1](#), pour les grosses racines il n'y a pas d'interférence entre les systèmes racinaires des différents pieds et la présence des grosses racines est limitée aux couches 0-10 cm et 10-20 cm à l'exception du premier monolithe. En absence d'interférence pour les grosses racines, la correction devient :

$$\frac{\prod *a}{64} + \frac{(4-1)\prod *b}{64} + \frac{(9-4)\prod *c}{64} + \frac{(16-9)\prod *d}{64} \quad (\text{Equation 3})$$

$$\text{avec } a = (d_1 + d_2 + d_9 + d_{10})/4$$

$$b = (d_3 + d_8)/2$$

$$c = (d_4 + d_7)/2$$

$$d = (d_5 + d_6)/2$$

En utilisant les données de base dans l'[Annexe 1](#) et en appliquant la théorie expliquée ci-dessus, la biomasse racinaire peut être corrigée pour tenir compte de la variabilité spatiale du système racinaire. Dans le Tableau 3 les fosses 1 et 2 représentent l'*Andropogon gayanus* à Cinzana et les fosses 3 et 4 représentent la même culture à N'Tarla. La distribution de la biomasse racinaire pour *Andropogon gayanus* est montrée dans la [Fig. 5](#). On peut constater que la biomasse des racines fines (< 2 mm) est beaucoup plus importante que celle des grosses racines (> 2 mm). En général, les grosses racines se limitent à la couche de 0-20 cm. La majorité des racines se trouvent dans les couches superficielles du sol. Dans la présente étude les racines ont été prélevées jusqu'à une profondeur de 180 cm, mais si on s'était limité à une profondeur de 60 cm, les pourcentages prélevés pour les fosses 1 à 4 ont été 87, 91, 98 et 89 % respectivement. On constate qu'à Cinzana (fosse 1 et 2) les racines descendent jusqu'à la cuirasse, localisée à une profondeur de 120 cm, et dans la première fosse on constate une légère augmentation de la biomasse racinaire au niveau de la cuirasse. En général, la biomasse racinaire diminue d'une façon négative exponentielle. A N'Tarla (fosses 3 et 4) les racines descendent jusqu'à 180 cm, mais les quantités en profondeur sont faibles.

Les fosses 1 et 2 et les fosses 3 et 4 peuvent être considérées comme des répétitions, mais on constate que les différences sont grandes : 2025 et 3493 kg ha⁻¹ pour les fosses 1 et 2 et 6576 et 2620 kg ha⁻¹ pour les fosses 3 et 4.

3.2.2. Biomasse racinaire de *Vigna unguiculata*

Les données de base de la distribution des racines de *Vigna unguiculata* se trouvent dans l'[Annexe 1](#) (fosses 5, 6 et 7). Il est évident que dans les couches 0-10 et 10-20 cm la biomasse racinaire diminue en s'éloignant des pieds. Comme pour l'*Andropogon gayanus*, nous considérons la biomasse racinaire d'être homogène à partir d'une profondeur de 20 cm. Cependant, l'interprétation des données de base semble être plus compliquée parce qu'il n'est pas évident qu'un pied de *Vigna unguiculata* dispose d'un système racinaire avec une symétrie radiale. Il est fort possible qu'à cause de l'écartement de 40 x 80 cm (voir [Fig. 4](#)), il y a une compétition entre les pieds individuels, résultant dans une symétrie non-radiale. Cependant, nos observations ne permettent pas de se prononcer sur la forme du système racinaire d'un pied individuel.

Tableau 3. Biomasse racinaire (kg ha⁻¹) après correction pour la variabilité spatiale.

10- 20 cm	262	680	1582	709	248	211	746	603	445
20- 30 cm	176	298	265	247	81	79	373	267	298
30- 40 cm	127	168	123	103	71	101	232	248	200
40- 50 cm	93	131	58	69	53	59	204	197	232
50- 60 cm	81	103	51	92	50	67	409	448	288
60- 70 cm	39	67	21	30	20	45	56	158	140
70- 80 cm	53	42	13	39	18	34	53	138	130
80- 90 cm	41	52	23	30	22	31	48	126	113
90-100 cm	24	53	14	35	20	27	62	122	108
100-110 cm	38	45	4	32	18	36	77	73	87
110-120 cm	76	43	4	19	28	53	64	110	130
120-130 cm	-	-	5	27	12	55	15	50	99
130-140 cm	-	-	1	19	3	49	6	35	84
140-150 cm	-	-	8	11	0	49	4	-	115
150-160 cm	-	-	5	19	3	9	3	-	-
160-170 cm	-	-	4	20	0	6	0	-	-
170-180 cm	-	-	-	6	0	3	0	-	-
cumul	2025	3493	6576	2620	1030	1345	2922	4161	3596

*

- 1: *A.gyanus* Cinzana, 12-09-92;
2: *A.gyanus* Cinzana, 21-09-92;
3: *A.gyanus* N'Tarla, 30-09-92;
4: *A.gyanus* N'Tarla, 05-10-92;
5: Niébé Cinzana, 19-10-92, P0;
6: Niébé Cinzana, 26-10-92, P0;
7: Niébé Cinzana, 30-10-92, P240;
8: *S.hamata* Cinzana, 05-11-1992, P240;
9: *S.hamata* Cinzana, 09-11-92, P0.

Figure 5. Distribution de la biomasse racinaire.

Pour l'*Andropogon gyanus* on peut calculer ([Annexe 1](#)) que le poids des racines dans la couche 0-10 cm diminue de 54 % après correction si on tient compte de la variabilité spatiale. Pour la couche 10-20 cm le poids moyen diminue de 29 % après pondération. Pour le *Vigna unguiculata*, il est évident que la correction qui tient compte de la variabilité spatiale est moindre, car la densité entre les pieds est 2 fois plus élevée, et vraisemblablement l'interférence entre les systèmes racinaires des pieds avoisinants est plus élevée. Arbitrairement nous avons diminué le poids racinaire de la couche 0-10 cm avec 25 % et de la couche 10-20 cm avec 12,5 % pour tenir compte de la variabilité spatiale.

Pour les grosses racines on observe dans l'[Annexe 1](#) qu'il n'y a pas une interférence entre les pieds avoisinants. Les grosses racines ont la forme d'un pivot et descendent verticalement ; elles ne s'éloignent pas plus de 10 cm du pied. L'hypothèse de la symétrie radiale reste valable, et analogue à l'Equation (1) on peut dériver que la densité pondérée est :

$$\frac{\prod}{32} * a = \frac{(d_1 + d_2 + d_3 + d_{10})}{4} \quad (\text{Equation 4})$$

Les fosses 5, 6 et 7 dans le Tableau 3 représentent le *Vigna unguiculata* à Cinzana. La distribution de la biomasse racinaire est représentée par la [Fig. 5](#). Comme pour l' *Andropogon gyanus*, on constate que la biomasse des racines fines est beaucoup plus importante que celle des grosses racines. Les grosses racines sont pivotantes et descendent jusqu'à une profondeur de 60 cm. Pour les fosses 5 et 6 (traitement sans application de phosphore), les racines sont concentrées dans la premières 20 cm du sol, pour le fosse 7 (traitement 240 kg P₂O₅ ha⁻¹) les racines sont concentrées dans la première 60 cm du sol. Pour les deux répétitions sans application de phosphore (fosse 5 et 6), la biomasse totale se trouve dans le même ordre (1030 et 1345 kg ha⁻¹), mais pour le traitement avec un apport de 240 kg P₂O₅ (fosse 7) la biomasse est plus élevée (2922 kg ha⁻¹). On peut constater sur la [Fig. 5](#) que même pour les couches profondes les biomasses sont respectables.

3.2.3. Biomasse racinaire de Stylosanthes hamata

L'interprétation des données de *Stylosanthes hamata* diffère des autres cultures à cause du fait que la culture est dense et homogène (voir Fig. 2). L' Annexe 1 (fosse 8 et 9) montre que la variabilité de la biomasse à l'intérieur d'une couche est limitée, ce qui implique qu'une correction pour tenir compte de la variabilité spatiale n'est pas nécessaire. La Fig. 5 montre que la quantité des racines grosses est faible et qu'ils se trouvent seulement dans les premières 20 cm du sol. Les racines fines de *Stylosanthes hamata* descendent jusqu'à la cuirasse, et la distribution en profondeur est plus homogène que celui d' *Andropogon gayanus*, et comparable avec celui de *Vigna unguiculata* . La biomasse totale est élevée : 3596 kg ha⁻¹ sans apport de phosphore, 4161 pour le traitement avec 240 kg P₂O₅.

3.3. Densité du système racinaire

Pour l'interprétation des données de base sur la distribution de la densité des racines (voir Annexe 2) on s'est limité aux racines fines, parce qu'on peut considérer que le rôle des grosses racines dans l'absorption d'eau et les éléments nutritifs est négligeable. L'extrapolation des données de base pour calculer la densité moyenne pose le même problème que l'extrapolation de la biomasse racinaire, à cause de la variabilité spatiale. Théoriquement l'exemple de la Fig. 4 s'applique aussi pour la densité : on peut pas simplement utiliser une densité moyenne par couche, mais on doit corriger pour le gradient de la densité en s'éloignant du pied et pour l'interaction entre des pieds avoisinants. Les Equations 1, 2 et 3 s'appliquent aussi pour la densité, mais à cause de la méthodologie utilisée dans la détermination de la densité (voir Fig.1b, seules les unités marquées avec x ont été considérées) les coefficients a-f ne pouvant pas être dérivés correctement.

Comme constaté pour la biomasse racinaire, les corrections à apporter sont grandes pour l'*Andropogon gayanus* à cause de l'écartement 80x80 cm ; pour les corrections de la densité racinaire d'*Andropogon gayanus* nous avons appliqué le rapport biomasse corrigée sur biomasse moyenne ; ces corrections peuvent être dérivées de l'Annexe 1. Pour le *Vigna unguiculata* la densité racinaire est corrigée de la même façon que la biomasse racinaire, c'est-à-dire la densité moyenne de la couche 0-10 cm a été diminuée avec 25 %, celle de la couche 10-20 cm a été diminuée avec 12,5 %. Pour le *Stylosanthes hamata*, aucune correction n'a été appliquée parce que la culture est homogène et la variabilité spatiale est négligeable. La densité racinaire après correction, est donnée dans le Tableau 4, et la distribution de la densité racinaire est représentée dans la Fig. 6. Pour l'*Andropogon gayanus* à Cinzana (fosse 1 et 2) on constate que les densités sont faibles, mais que la densité racinaire diminue d'une façon moins dramatique que la biomasse racinaire. Cela implique qu'en allant vers des couches plus profondes la longueur spécifique (mètres de racines par gramme de biomasse) augmente, c'est-à-dire que le diamètre des racines diminue, ce qui leur permet d'exploiter le sol d'une façon plus intensive.

Tableau 4. Densité racinaire (cm cm³) après correction pour la variabilité spatiale.

fosse	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*
00- 10	0.50	1.50	1.81	1.00	1.20	1.06	0.89	3.13	2.23
10- 20	0.31	0.51	1.21	0.73	0.84	0.63	1.87	1.45	0.96
20- 30	0.33	0.48	0.53	0.45	0.39	0.29	1.11	0.77	0.90
30- 40	0.22	0.33	0.25	0.15	0.11	0.23	0.77	0.84	0.48
40- 50	0.19	0.33	0.14	0.11	0.14	0.16	0.58	0.81	0.69
50- 60	0.22	0.28	0.10	0.17	0.04	0.24	0.98	1.45	0.93
60- 70	0.13	0.17	0.06	0.04	0.04	0.17	0.29	0.77	0.79
70- 80	0.14	0.09	0.02	0.02	0.03	0.06	0.24	0.60	0.80
80- 90	0.14	0.08	0.03	0.04	0.04	0.07	0.22	0.48	0.62
90-100	0.09	0.12	0.01	0.04	0.04	0.10	0.26	0.43	0.47
100-110	0.12	0.14	0.01	0.04	0.05	0.16	0.39	0.31	0.39
110-120	0.18	0.17	0.01	0.03	0.08	0.20	0.27	0.56	0.40
120-130	-	-	0.02	0.05	0.03	0.18	0.05	0.29	0.37
130-140	-	-	0.01	0.06	0.00	0.16	0.02	0.21	0.50
140-150	-	-	0.02	0.04	0.01	0.10	0.03	-	0.66
150-160	-	-	0.01	0.07	0.01	0.05	0.00	-	-
160-170	-	-	0.01	0.06	0.00	0.01	0.00	-	-
170-180	-	-	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	-	-

*
1: A.gyanus Cinzana, 12-09-92;
2: A.gyanus Cinzana, 21-09-92;
3: A.gyanus N'Tarla, 30-09-92;
4: A.gyanus N'Tarla, 05-10-92;
5: Niébé Cinzana, 19-10-92, P0;
6: Niébé Cinzana, 26-10-92, P0;
7: Niébé Cinzana, 30-10-92, P240;
8: S.hamata Cinzana, 05-11-1992, P240;
9: S.hamata Cinzana, 09-11-92, P0.

Figure 6. Distribution de la densité racinaire.

Comme pour la biomasse racinaire, la densité racinaire du traitement avec apport de phosphore (fosse 7) est supérieure aux témoins (fosse 5 et 6). Pour le *Stylosanthes hamata* (fosse 8 et 9) on constate des densités racinaires élevées dans les couches supérieures et la diminution de la densité avec la profondeur est moins prononcée que pour les autres cultures. Cela implique une forte augmentation de la longueur spécifique en allant vers les couches plus profondes.

3.4. Longueur spécifique des racines

Les données dans l'[Annexe 1](#) (biomasse racinaire par bloc de 10x10x10 cm de la planche, en g l⁻¹) et dans l'[Annexe 2](#) (densité racine par bloc, en cm cm⁻³) permettent d'évaluer la longueur spécifique pour les différentes fosses.

Pour chaque bloc pour lequel la densité racinaire a été mesurée, la longueur spécifique a été calculée, et le Tableau 5 donne la longueur spécifique moyenne par couche pour les différentes fosses. Il est évident que pour l'*Andropogon gyanus* et *Stylosanthes hamata* la longueur spécifique augmente en allant vers des couches plus profondes. Pour le *Vigna unguiculata* la variabilité en longueur spécifique entre les couches est grande, et une tendance claire ne se présente pas.

Tableau 5. Longueur spécifique (m g⁻¹) des racines en fonction de la profondeur.

fosse	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*
00- 10	15.9	18.9	38.1	27.1	69.6	64.4	29.6	38.3	37.5
10- 20	33.1	18.6	16.9	17.5	68.5	57.2	44.0	33.4	35.0
20- 30	31.9	23.6	31.5	28.4	69.8	57.6	72.7	45.6	48.3
30- 40	50.4	33.0	49.3	46.1	52.3	55.0	57.4	58.2	39.4
40- 50	42.1	36.8	42.3	24.0	47.1	55.2	57.5	55.9	51.7
50- 60	70.8	40.3	38.1	39.4	10.8	46.4	41.3	48.1	54.5
60- 70	45.0	40.0	41.9	68.1	64.7	63.6	73.2	73.2	90.1
70- 80	58.8	30.2	28.4	32.0	19.2	40.4	72.2	69.7	92.1
80- 90	64.1	37.1	25.4	47.0	32.3	43.0	57.1	64.8	78.3
90-100	52.7	38.5	15.2	29.3	22.4	60.2	101.8	69.7	75.0
100-110	59.2	41.1	43.7	31.4	56.4	51.0	76.7	70.9	59.2
110-120	40.9	41.3	37.3	70.8	48.9	54.7	70.1	82.4	60.0
120-130	-	-	72.5	95.4	44.1	65.6	52.3	91.3	57.1
130-140	-	-	31.6	85.5	16.4	43.9	19.7	101.8	94.3
140-150	-	-	53.0	69.5	-	45.0	81.3	-	-
150-160	-	-	29.0	53.9	36.5	73.6	13.5	-	-
160-170	-	-	47.1	65.4	49.2	42.8	-	-	-
170-180	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*
1: A.gyanus Cinzana, 12-09-92;
2: A.gyanus Cinzana, 21-09-92;
3: A.gyanus N'Tarla, 30-09-92;

4: *A. gayanus* N'Tarla, 05-10-92;
5: Niébé Cinzana, 19-10-92, P0;
6: Niébé Cinzana, 26-10-92, P0;
7: Niébé Cinzana, 30-10-92, P240;
8: *S. hamata* Cinzana, 05-11-1992, P240;
9: *S. hamata* Cinzana, 09-11-92, P0.

4. Discussion et conclusions

Caractéristiques physiques et chimiques du sol

Veldkamp *et al.* (1991) ont procédé à l'inventaire de la fertilité des terres vierges du Mali Sud. Le Tableau 1 montre, que suivant leurs critères les sols de l'étude à Cinzana et à N'Tarla peuvent être classés comme des sols pauvres, avec des teneurs en matière organique, azote-total, phosphore-total et P-assimilable très bas. A N'Tarla le P-assimilable est encore plus bas que pour les autres sites, ce qui peut être le résultat de 45 ans de culture d'*Andropogon gayanus* sans apport des éléments nutritifs.

A Cinzana la CEC est faible, par contre pour la bande d' *Andropogon gayanus* à N'Tarla on trouve des valeurs de CEC qui sont comparables à celle des terres vierges suivant Veldkamp *et al.* En effet, une culture d'*Andropogon gayanus* installée depuis 45 ans, peut être considérée comme une jachère ou terre vierge. Cependant, la teneur en matière organique est faible. La CEC de la matière organique est dans l'ordre de 250-300 méq 100 g⁻¹ (Veldkamp *et al.*, 1991 ; Janssen, 1983), cela veut dire que chaque pourcentage de la matière organique contribue pour près de 2,5-3,0 méq 100 g⁻¹ à la CEC. Etant donné que la teneur en matière organique (calculée comme pourcentage C-organique/0,58) est dans l'ordre de 0,5 %, la contribution de la matière organique à la CEC est dans l'ordre de 1,25 à 1,50 méq 100 g⁻¹. Cela implique que l'augmentation de la CEC avec la profondeur est surtout liée à une augmentation de la teneur en argile. Pour les argiles kaolinite, qui sont prédominantes dans la zone, la CEC varie entre 3 et 15 méq 100 g⁻¹ ; et la teneur en argile augmente avec la profondeur (Tableau 1).

On constate sous l'*Andropogon gayanus* à Cinzana et N'Tarla que la saturation est plus élevée que sous *Stylosanthes hamata* et atteint des fois même 100 %. Pour le *Stylosanthes hamata* on observe que la saturation des bases des couches superficielles (0-60 cm) est basse mais la raison n'est pas clairement établie.

Concernant la teneur en carbone on constate pour les 4 sites une diminution avec la profondeur, cependant il y a une légère augmentation pour les couches les plus profondes. Il est possible qu'à Cinzana cela soit le résultat de la présence des racines des ligneux pendant les 10 années de jachère avant l'installation des essais, avec des concentrations des racines dans les couches superficielles et au niveau de la cuirasse. Pour le *Vigna unguiculata* (fosse 6 et 7) et pour le *Stylosanthes hamata* (fosse 9) on observe aussi de légères augmentations de la biomasse racinaire au niveau de la cuirasse. Pour la teneur en matière organique à N'Tarla, on peut supposer qu'il s'agit d'une situation d'équilibre, après 45 ans de culture on peut affirmer qu'il n'y a plus de grands changements de la teneur en matière organique. Dans une telle situation, la quantité de la matière organique décomposée par année est égale à la biomasse racinaire à la fin de saison.

Les analyses chimiques montrent qu'en général les teneurs en éléments nutritifs sont très basses, et on atteint la limite de détection pour plusieurs paramètres de fertilité. Les fluctuations dans les résultats des analyses peuvent être liées à ce fait, cependant il n'est pas exclu que les fluctuations constituent des erreurs dans les résultats d'analyses.

Biomasse racinaire Andropogon gayanus

Le profil d'enracinement des plantes présente un intérêt évident pour une meilleure compréhension de l'utilisation des éléments nutritifs disponibles par une végétation naturelle ou une culture. Cependant, dans l'estimation de la biomasse racinaire il n'est pas nécessaire de prélever jusqu'à la profondeur de l'enracinement mais on peut se limiter aux couches superficielles. Le Tableau 6 montre la biomasse d'une façon relative, cumulée à partir de la première couche ; pour l'*Andropogon gayanus*, environ 90 % de la biomasse racinaire se trouve dans les couches superficielles. On a constaté que les différences dans la biomasse racinaire entre deux répétitions sont grandes (Tableau 2) : la différence entre les fosses 1 et 2 (*Andropogon gayanus* Cinzana) est de 72 %, pour les fosses 3 et 4 (*Andropogon gayanus* N'Tarla) la différence est de 151 %. L'explication la plus plausible peut être liée à l'âge de la population de N'Tarla (45 ans) qui a été assimilée à une population naturelle. Dans l'analyse de nos résultats l'écartement choisi a été de 80x80 cm, pour le prélèvement du monolithe les pieds ont été choisis d'une telle façon que la distance entre les deux était approximativement 80 cm. Comme pour la plupart des populations végétales naturelles, la distribution est vraisemblablement du type « poisson », au lieu d'être homogène. En plus, dans une population naturelle, la vigueur des différents pieds n'est pas comparable, à cause de la compétition et de la micro-variabilité du terrain. C'est même rare de trouver deux pieds avec la même taille côte à côte, ce qui remet l'hypothèse de la symétrie radiale en cause. Cela est illustré dans la [Fig. 7](#), où on compare la distribution mesurée avec la distribution estimée en utilisant les coefficients a - f (voir 3.3.1). Dans ces conditions il est évident que les écarts entre estimations et observations soient grands.

Tableau 6. Contribution cumulative (%) de la biomasse racinaire compté à partir de la couche 0-20 cm.

no.du fosse	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*
00- 10 cm	50.2	51.8	66.8	42.5	37.3	32.0	19.5	38.1	31.3
10- 20 cm	63.2	71.3	90.9	69.6	61.3	47.7	45.0	52.6	43.7
20- 30 cm	71.8	79.8	94.9	79.0	69.1	53.6	57.8	59.0	52.0
30- 40 cm	78.1	84.6	96.8	82.9	76.0	61.1	65.8	65.0	57.6
40- 50 cm	82.7	88.4	97.7	85.6	81.1	65.4	72.7	69.7	64.0
50- 60 cm	86.7	91.3	98.4	89.1	86.0	70.5	86.7	80.5	72.0
60- 70 cm	88.6	93.3	98.8	90.2	87.9	73.8	88.7	84.3	75.9
70- 80 cm	91.2	94.5	99.0	91.7	89.7	76.3	90.5	87.6	79.5
80- 90 cm	93.2	96.0	99.3	92.8	91.8	78.6	92.1	90.6	82.7
90-100 cm	94.4	97.5	99.5	94.1	93.7	80.5	94.2	93.5	85.7
100-110 cm	96.3	98.8	99.6	95.4	95.5	83.2	96.8	95.3	88.1
110-120 cm	100.0	100.0	99.6	96.1	98.2	87.2	99.0	98.0	91.7
120-130 cm	-	-	99.7	97.2	99.4	91.3	99.6	99.2	94.5
130-140 cm	-	-	99.7	97.9	99.7	95.0	99.8	100.0	96.8
140-150 cm	-	-	99.9	98.3	99.7	98.6	99.9	-	100.0
150-160 cm	-	-	99.9	99.0	100.0	99.3	100.0	-	-
160-170 cm	-	-	100.0	99.8	-	99.8	-	-	-
170-180 cm	-	-	-	100.0	-	100.0	-	-	-

*

1: A.gyanus Cinzana, 12-09-92;

2: A.gyanus Cinzana, 21-09-92;

3: A.gyanus N'Tarla, 30-09-92;

4: A.gyanus N'Tarla, 05-10-92;

5: Niébé Cinzana, 19-10-92, P0;

6: Niébé Cinzana, 26-10-92, P0;

7: Niébé Cinzana, 30-10-92, P240;

8: S.hamata Cinzana, 05-11-1992, P240;

9: S.hamata Cinzana, 09-11-92, P0

Figure 7. Distribution mesurée (*) et distribution estimée (bars) des racines fines dans la couche 0-10 cm du monolithe 1, *Andropogon gyanus*.

Par rapport à la variabilité spatiale sur le terrain et la distance entre les pieds individuels, le volume prélevé est limité et n'est pas assez représentatif pour l'ensemble de la culture. Par ailleurs la méthode des monolithes permet de déterminer, en plus de la biomasse racinaire, d'autres caractéristiques des racines comme la longueur spécifique et la distribution de la densité racinaire avec une précision élevée. La faible représentativité des monolithes pour l'*Andropogon gyanus* nous a conduit à choisir une autre méthodologie, nous permettant de prélever un volume plus grand en prenant en compte plusieurs pieds à la fois. Il s'agit de prélever un volume de sol avec une longueur et une largeur de 80 cm, et à une profondeur de 60 cm, répartie en 16 blocs de 20x20x20 cm. Cette méthode (« méthode des blocs ») fournit des données qui sont beaucoup plus représentatives ([Traoré, en prép.](#)), mais ne permet pas de déterminer la distribution tri-dimensionnelle des racines. Cependant, la méthode des blocs a démontré que la biomasse racinaire à la fin du cycle à N'Tarla se trouve dans l'ordre de 4 t ha⁻¹ et à Cinzana dans l'ordre de 5 t ha⁻¹ ([Traoré, en prép.](#)). Ceci implique qu'avec les échantillons de monolithe à Cinzana la biomasse racinaire a été sous-estimée et à N'Tarla la biomasse se trouve entre les deux répétitions des monolithes.

C'est surtout pour les couches supérieures où il y a des difficultés dans l'estimation, pour les couches profondes on constate que la distribution latérale est approximativement uniforme. Ce qui permet une extrapolation linéaire pour obtenir la biomasse par unité de surface. A Cinzana on observe que les racines descendent jusqu'au niveau de la cuirasse, mais à N'Tarla les racines descendent plus profondément à cause de l'absence de la cuirasse. Quand bien même les biomasses en profondeur étaient très faibles. La quantité et la distribution de la biomasse à N'Tarla est comparable aux données de Breman (1982) provenant des expérimentations à Sotuba (Bamako) avec une pluviométrie comparable avec celle de N'Tarla.

Les biomasses aériennes à Cinzana et N'Tarla ont été estimées à 8 et 12 t ha⁻¹ ([Traoré, en prép.](#)) et les rapports biomasse

racinaire/biomasse aérienne sont 1:1,6 pour Cinzana et 1:3 pour N'Tarla. La culture d'*Andropogon gayanus* à Cinzana est très jeune par rapport à celle de N'Tarla, et il est possible que pendant les premières années de sa croissance, les investissements dans le système racinaire sont plus importants.

Biomasse racinaire Vigna unguiculata

La légumineuse annuelle *Vigna unguiculata* a été implantée à un écartement fixe sur une parcelle homogène, ce qui implique que la compétition entre les pieds avoisinants est comparable, et la vigueur des différents pieds est identique. Cela implique que les différences de système racinaire entre les pieds doivent être moindres. On constate que la différence entre la biomasse racinaire pour la fosse 5 et 6 est de 31 %, c'est-à-dire beaucoup moins que pour l'*Andropogon gayanus*. Pour l'*Andropogon gayanus* environ 90 % de la biomasse racinaire se trouve dans les premiers 60 cm du profil. Pour le *Vigna unguiculata* ce pourcentage est moins, parce que la distribution verticale dans le profil est plus homogène. Les biomasses aériennes de *Vigna unguiculata* étaient $4,22 \text{ t ha}^{-1}$ pour le traitement sans apport de phosphore (fosse 5 et 6) et $4,87 \text{ t ha}^{-1}$ pour le traitement avec phosphore (Koné & Groot, en prép.). Par contre, le rapport biomasse racinaire/biomasse aérienne est environ 1:3,5 sans apport de P et 1:1,7 avec apport de P.

Cependant, il est remarquable que la production des racines pour le traitement avec apport de phosphore est très élevée par rapport au témoin, car il n'y a pas une forte réponse pour le phosphore par la biomasse aérienne. En principe la nécessité d'avoir un système racinaire ne se pose pas dans une situation avec une disponibilité élevée des éléments nutritifs. En général l'équilibre fonctionnel change dans la sens inverse : en cas d'absence des ressources dans le sol, le rapport biomasse racinaire/biomasse aérienne augmente au lieu de diminuer.

Biomasse racinaire de Stylosanthes hamata

Suivant les données de base dans l' [Annexe 1](#), la distribution latérale des racines est homogène, et il est évident que le prélèvement avec la planche à clous fournit des données représentatives pour cette culture. Malgré le fait qu'on n'a pas de répétitions pour le *Stylosanthes hamata*, on peut s'attendre à des petites différences à cause de l'homogénéité de la culture et sa densité élevée. En comparant les données de *Andropogon gayanus*, *Vigna unguiculata* et *Stylosanthes hamata*, on constate que la représentativité de la méthode utilisée augmente avec une augmentation de la densité de la culture. Les quantités de biomasse racinaire produites par le *Stylosanthes hamata* sont élevées, 3596 kg ha^{-1} sans apport de phosphore et 4161 kg ha^{-1} avec apport de $240 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$. Les biomasses aériennes étaient $8,36$ et $10,86 \text{ t ha}^{-1}$, ce qui aboutit à des rapports biomasse racinaire/biomasse aérienne de 1:2,3 et 1:2,6 pour les traitements P_0 et P_{240} respectivement. La distribution de la biomasse ressemble à celui de *Vigna unguiculata*. La biomasse est acceptable jusqu'au niveau de la cuirasse.

Production racinaire et matière organique dans le sol

Les productions de biomasses racinaires mesurées peuvent être considérées comme des apports en matière organique au sol. A N'Tarla, la production de biomasse racinaire est dans l'ordre de 4 t ha^{-1} par année, et la plupart des racines est concentrée dans les couches superficielles. C'est dans les premières 60 cm du sol qu'on trouve aussi une teneur en matière organique relativement élevée de 0,57 % (% C/0,58). En ce qui concerne la matière organique à N'Tarla, on peut dire que le sol se trouve dans une situation d'équilibre après 45 ans de présence d'*Andropogon gayanus* ; la minéralisation de la matière organique par les racines est équilibrée par l'apport de la matière organique des racines. Concernant le bilan d'azote on peut constater un déséquilibre, l'apport de l'azote par la biomasse racinaire est dans l'ordre de 25 kg ha^{-1} pour une culture non fertilisée ([Traoré, en prép.](#)) et 50 kg ha^{-1} pour une culture fertilisée. La quantité de l'azote absorbé par la biomasse aérienne pour les traitements non-fertilisés et fertilisés sont dans l'ordre de 59 et 105 kg ha^{-1} , respectivement. Cela signifie que sans apport d'engrais, n'importe quelle forme d'exploitation diminue le stock en azote à long terme. En utilisant les teneurs en azote du sol du Tableau 1, on trouve que le stock d'azote dans la couche 0-180 cm est dans l'ordre de 4800 kg ha^{-1} , ce qui implique que l'exploitation sans apport d'engrais risque d'épuiser le stock en azote dans le sol et à la longue de diminuer la teneur en matière organique et la productivité du sol. Le même raisonnement est valable pour les autres éléments nutritifs. Sans intrants la fertilité du sol sous une culture pérenne exploitée est vite épuisée.

On constate que l'apport de la biomasse racinaire pour la culture jeune à Cinzana est relativement plus élevée que celle d'une culture vieille de 45 ans. Il est possible qu'au cours des premières années de croissance les investissements dans le système racinaire sont plus élevés pour permettre à la culture de mieux survivre.

L'apport de biomasse racinaire par les légumineuses *Stylosanthes hamata* et *Vigna unguiculata* est d'une autre nature, à cause de leur capacité de fixer l'azote. La minéralisation des racines peut contribuer d'une façon considérable à la disponibilité de l'azote dans le sol. Dans une étude avec l'objectif de déterminer la vitesse de minéralisation des différents résidus de récolte, on a constaté que la teneur en azote des nodules de *Vigna unguiculata* était 7,7 %, les racines fines de *Vigna unguiculata* avaient une teneur en azote de 2,9 % et celles de *Stylosanthes hamata* de 1,53 % (résultats non publiés). Cela implique que la quantité d'azote dans le système racinaire de *Vigna unguiculata* se trouve dans l'ordre de 40 kg ha^{-1} , pour *Stylosanthes hamata* dans l'ordre de 60 kg ha^{-1} . La plupart de l'azote incorporé dans les racines devient disponible au cours de la décomposition, et peut être liée aux arrières effets considérables. Cependant, c'est seulement avec une bonne supplémentation de phosphore que les légumineuses ne sont pas limitées dans leur fixation de l'azote. Cela indique que pour pouvoir profiter de la plus-value des légumineuses, un apport en phosphore est nécessaire.

Densité du système racinaire et la longueur spécifique des racines

Ce n'est pas la biomasse racinaire mais surtout la densité d'enracinement et la superficie du système racinaire qui sont des paramètres importants dans l'absorption de l'eau et les éléments nutritifs (de Willigen & Van Noordwijk, 1987). Les racines grosses n'ont pas d'importance dans ce contexte, parce que leur rôle dans l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs est négligeable. Ce sont les racines fines qui jouent un rôle principal, et plus les diamètres des racines sont fines, plus grande est leur superficie spécifique. Une comparaison entre la distribution de la biomasse et de la densité racinaire montre que pour l' *Andropogon gayanus* et le *Stylosanthes hamata* la densité racinaire relative est plus importante que la biomasse racinaire relative, ce qui implique que la longueur spécifique (mètres de racines par gramme des racines) augmente avec la profondeur (voir Tableau 5). Une augmentation de la longueur spécifique des racines signifie que leur diamètre devient plus fin et que la superficie du système racinaire augmente. En jouant sur leur diamètre, l'*Andropogon gayanus* et le *Stylosanthes hamata* arrivent à mieux exploiter les couches profondes et de compenser la diminution de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur.

Une comparaison avec une compilation de la littérature concernant la longueur spécifique par de Willigen & Van Noordwijk (1987), montre que les valeurs observées dans la présente étude se trouvent dans le même ordre. On constate également que la variabilité de la longueur spécifique entre les différentes fosses d'une seule culture est beaucoup moindre que la variabilité dans la biomasse et la densité racinaire.

Bibliographie

Böhm, W., 1979. Methods of studying root systems. Springer Verlag Berlin, 188 pp.

Breman, H., 1982. La production actuelle des pâturages naturels en relation avec des facteurs naturels et des facteurs anthropiques. Dans : [F.W.T. Penning de Vries & M.A. Djitéye \(eds.\)](#). La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Agric. Res. Rep. 918, Pudoc, Wageningen, p. 284-295.

Gautronneau, Y. & H. Manichon, 1987. Guide méthodique du profil cultural. Groupe d'études d'Application et de Recherche en Agriculture (GEARA) et Centre de Recherche d'Etudes de formation de l'ISARA (CEREF-ISARA), Paris, 71 pp

Grzebisz, W., J. Floris & M. van Noordwijk, 1989. Loss of dry matter and cell contents from fibrous roots of sugar beet due to sampling, storage and washing. Plant & Soil 113, 53-57.

Janssen, B.H., 1983. Organische stof en bodemvruchtbaarheid, collegedictaat 06-17-4311. Landbouw Universiteit Wageningen, Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, 215 pp.

Keita, B., 1990. Reconnaissance des sols et représentativité de quelques Stations de Recherche à Mali-Sud, Longorola, N'Tarla et Cinzana. DRA - SRCVO.

Keita, B., D. Diallo & L. Dioni, 1981. Etude pédologique de la Station de Recherche Agronomique de Cinzana. SRCVO.

Koné, D. & J.J.R. Groot, en prép. Utilisation de phosphore et de l'azote par les légumineuses *Stylosanthes hamata* et *Vigna unguiculata*. Rapport de Recherche PSS.

Newman, E.I., 1966. A method for estimating the total length of roots in a sample. Journal of Applied Ecology 3, 139-145.

Noordwijk, M. van, 1993. Roots: length, biomass, production and mortality. In: Anderson, J.M. & Ingram, J.S.I. (eds.), 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. CAB International, Wallingford, p. 132-144.

Noordwijk, M. van, J. Floris & A. de Jager, 1985. Sampling schemes for estimating root density distribution in cropped fields. Netherlands Journal of Agricultural Science 33, 241-262.

Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitéye (eds.), 1982. [La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle](#). Agric. Res. Rep. 918, Pudoc, Wageningen, 525 pp.

Pieri, C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, Montpellier, France, 444 pp.

Schuurman, J.J. & M.A.J. Goedewaagen, 1971. Methods for the examination of root systems and roots. Pudoc, Wageningen, 86 pp.

Tennant, D., 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. Journal of Ecology 63, 995-1001.

Traoré, M. (en prép.). [Utilisation des éléments nutritifs par une graminée pérenne : *Andropogon gayanus*](#). Thèse de doctorat, ISFRA,

Mali.

Traoré, M., J.J.R. Groot & F.W. Meijboom (en prép). Manuel pour l'échantillonnage des systèmes racinaires. Rapport de Recherche PSS.

Veldkamp, W.J., Traoré, A.& N'Diaye, M.K., 1991. Fertilité des sols du Mali, Mali-Sud/Office du Niger, interprétation des données analytiques des sols et des plantes. Laboratoire des Sols, IER-DRA-SRCVO, Sotuba, Bamako, 149 pp.

Willigen, P. de & M. van Noordwijk, 1987. Roots, plant production and nutrient use efficiency. Ph.D. thesis, Université Agronomique, Wageningen, 282 pp.